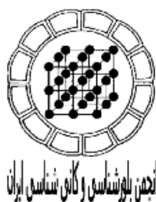
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و چهارم، شمارۀ اول، بهار ۹۵، از صفحۀ ۱۸۱ تا ۱۹۰



بررسی ژئوشیمی کانی‌های تبخیری با تأکید بر سولفات‌سدیم در کراترهای توتک راین در استان کرمان

عاطفه قائدی*، عباس مرادیان، حمید احمدی پور

بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۳/۱۱/۵، نسخه نهایی: ۹۴/۴/۱۰)

چکیده: سولفات‌سدیم پس از کلریدسدیم یکی از فراوان‌ترین کانی محلول در آب در طبیعت است که در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی کرمان در راین، میان کراترهای توتک سولفات‌سدیم به وفور یافت می‌شود. با توجه به اینکه کاملترین زمان شکوفایی سولفات‌سدیم در اواخر تابستان و اوایل مهرماه است؛ نمونه‌برداری در اوایل مهرماه انجام شد. نمونه‌ها از اعماق ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری زمین برداشت شده و به منظور بررسی‌هایXRF و XRD مورد نیاز، به شرکت فرآوری مواد معدنی ارسال شدند. بررسی‌های کانی شناسی حاکی از وجود سولفات‌سدیم از نوع تناردیت بود که با توجه به نتایج XRF و مقایسه‌ی آن‌ها با اکسیدهای اصلی پوسته‌ی زمین، Na_2O بیشترین فراوانی را در بین اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد، و فراوانی SO_3 ارتباط مسقیم به میزان سدیم دارد. بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن که برای داده‌های XRF رسم شد، ضریب همبستگی SO_3 و Na_2O برابر ۱+ بود که نشان دهنده‌ی غالب بودن کانی تناردیت است.

واژه‌های کلیدی: *سولفات سدیم؛ XRD و SEM ؛ کراتر توتک؛ راین.*

مقدمه

سولفات‌سدیم پس از کلریدسدیم یکی از فراوان‌ترین کانی محلول در آب است که در طبیعت یافت می‌شود. تناژ بزرگی از سولفات‌سدیم در صنایع شیمیایی کاربرد دارد و احتمالا یکی از اولین کانی مورد استفاده‌ی بشر در حدود ۵۰۰۰ سال قبل بوده است. از جمله استفاده‌های آن در مصر باستان برای مومیایی کردن جسد مردگان بود که برای این منظور از مخلوطی از سولفات‌سدیم و کربنات‌سدیم استفاده می‌شد [۱]. در ایران قدیم به آن مهره افسون یا حجرالسلوان می‌گفتند که کاربرد دارویی داشته است. از دیگر استفاده‌های آن در گذشته استفاده در رنگرزی، شیشه‌گری و دباغی است. سولفات‌سدیم یک ماده‌ی شیمیایی بسیار مهم در صنعت است. مصرف رو به رشد این ماده در صنایع مختلف باعث شده است که علاوه بر روش‌های شیمیایی تولید آن، به منابع طبیعی موجود توجه بیشتری شود. براساس بررسی‌های انجام شده، کانسارهای سولفات‌سدیم در رده‌ی تبخیری‌ها قرار می‌گیرند و از این رو برای پی‌جوئی سولفات‌سدیم، تمرکز بر مناطق خشک و نیمه خشک، بویژه مناطق پست کویری، حائز اهمیت است [۲]. در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی کرمان، و در اطراف دهکده‌های قلعه حسنعلی، قلعه حیدر و توتک، ۱۴ کراتر انفجاری، یافت - شد، که نخست برخوردگاه سنگ های آسمانی [۳] و بعدها کراترهای آتشفشانی در آنها شناسایی شدند. این کراترها در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، یا در نهشته‌های آذرآورای الیگومیوسن، و یا در نهشته‌های تخریبی شیمیایی کواترنر پدید آمده‌اند [۳].

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۸۸۳۰۵۸۳، نمابر ؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟، پست الکترونیکی: Atefeh_gh19@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]

سولفات‌سدیم نوعی ترکیب شیمیایی رایج است که در طبیعت به فراوانی یافت می‌شود، کانسارهای سولفات‌سدیم معمولاً از تبخیر آب‌های سطحی اشباع شده از نمک در دریاچه‌های قلیائی و سواحل تشکیل می‌شوند و در نتیجه تبخیر آب‌های سطحی مقداری سولفات‌سدیم همراه با نمک‌های دیگر در اینگونه از دریاچه‌ها به اشباع می‌رسد، به طوری که بخش بزرگی از سولفات‌سدیم طبیعی از شورابه‌های غیر دریایی و رسوبات تبخیری به دست می‌آید که در دریاچه‌های کویری وجود دارد. بر این اساس بیشتر کانسارهای تجاری سولفات‌سدیم دارای خاستگاه تبخیری هستند و بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند [۴].

به طور کلی مناطقی را که برای پی‌جویی این ماده‌ی معدنی مناسب‌اند می‌توان به چند گروه رده‌بندی کرد و پی جوئی‌ها را در این مناطق متمرکز کرد [۲].

الف ـ دشت‌ها و دامنه‌های پست کوه‌های آتشفشانی جوان، مظهر آب‌های زیرزمینی و شور و کنار رودخانه‌های شور و نیز کرانه‌های دریاچه‌های شور و پلایاها و شورابه‌های لب شور حاشیه سواحل.

ب ـ سازندهای تبخیری، تپه‌های رسی و ماسه‌ای مجاور دریاچه‌های آب شور و سواحل.

ج –آتشفشان‌های جوان، توف‌ها و خاکسترهای آتشفشانی و چشمه‌های آب گرم شور مجاور بخارهای آتشفشانی و حواشی دامنه‌ی سنگ‌های آتشفشانی جوان. سولفات‌سدیم موجود در خاکسترهای آتشفشانی کراترهای قلعه‌ی حسنعلی و منطقه‌ی توتک راین کرمان بر این اساس مورد پی‌جویی قرار گرفتند که سنگ‌های درونگیر کراترهای این منطقه، عموماً از مجموعه‌های آتشفشانی، رسوبی و نفوذی ائوسن میانی و بالایی تا الیگوسن تشکیل شده و سولفات‌سدیم در خاکسترهای ریز دانه اطراف کراترها وجود دارند که سولفات‌سدیم در منطقه‌ی توتک از خلوص بیشتری نسبت به قلعه‌ی حسنعلی برخوردار است.

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد بررسی

این منطقه در ۲۰ کیلومتری جنوب راین و در غرب خانه خاتون نزدیک راین استان کرمان و بین طول‌های '۳۵،° ۵۷ تا '۳۰،° ۵۷ شرقی و عرض های'۲۰،° ۲۹ تا '۲۵،° ۲۹ شمالی قرار گرفته و مساحت تقریبی آن ۲۰ کیلومتر مربع است (شکل۱). آب و هوای راین معتدل کوهستانی است با زمستان-های سرد و تابستان‌های خنک و دلپذیر. دمای میانگین سالانه-ی آن ۱۳ درجه و میانگین بارندگی ۷۳ میلی‌متر است [۵]. منطقه‌ی مورد نظر درون کراترهای آتشفشانی توتک قرار گرفته‌است وکراترها نیز حاصل انفجارهای آتشفشانی هستند و سن آن‌ها به کواترنر می‌رسد (شکل۲). تشکیلات مشرف بر این منطقه به دو گروه تقسیم می‌شوند.

الف) تشکیلات آتشفشانی ائوسن که کراترها درون آن‌ها قرار گرفته‌اند و شامل ماسه‌سنگ‌های توفی، توفیت‌ها ، ریولیت توف، گدازه‌ها و پیروکلاستیک‌های اسیدی وابسته به همبافت آتشفشانی هزار [۳] و در کوه زاغ و کوه پایین واقع شده‌اند. ب) تشکیلات جنوب غربی که بازهم به گدازه‌ها و مواد آذرآواری نوار دهج - ساردوئیه وابسته بوده و کمی قدیمی‌ترند (ائوسن میانی هستند). این تشکیلات شامل گدازه‌ها و توف‌های اسیدی آگلومرا- برش‌های آتشفشانی و توف‌اند و به صورت یک مجموعه متناوب از گدازه و پیروکلاستیک رخنمون دارند.

این آتشفشان در مراحل آخر فوران خود ماگما نداشت و فوران آن به آب‌های سطحی وابسته بوده و گل و لای بیرون می‌ریخته است. بیشتر منطقه از مارن پوشیده شده است. وجود دودکش گلی در کراترهای توتک بسیار جوان بودن این آتشفشان صحه می‌گذارد (شکل۳).

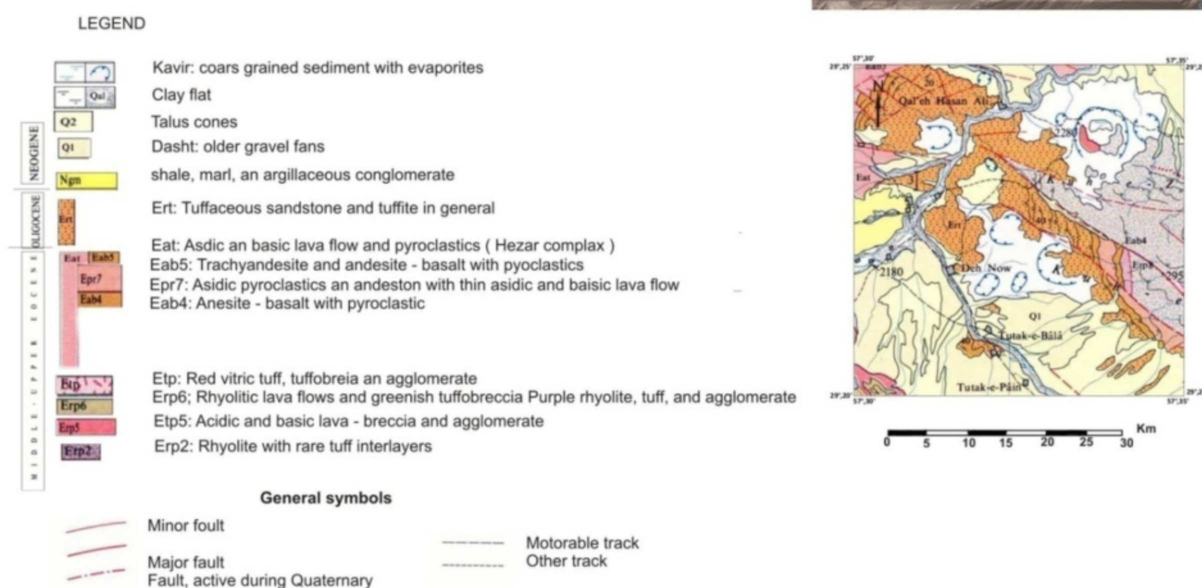
روش بررسی

به منظور بررسی رسوب‌های کراترهای توتک راین، نخست اطلاعات وابسته به هدف پژوهش؛ شامل مقالات، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰خانه‌خاتون جمع آوری و مورد برر سی قرار گرفتند. با توجه به اینکه کاملترین زمان تبلور و رشد رسوب‌های سولفات‌سدیم در در اواخر تابستان و اوایل مهرماه صورت می‌گیرد، نمونه‌برداری در اوایل مهرماه انجام شد. حدود ۴۰ نمونه‌ها از اعماق ۳۰ تا ۵۰ سانتی متری زمین برداشت شدند. در نمونه‌برداری نخست نمونه‌ها را از دورترین نقطه‌ی کراتر، نمونه‌های بعدی را به ترتیب از تمام جهات دیواره‌های کالدرا، دهانه‌ی دودکش و پشت دیواره برداشت شدند و موقعیت نمونه‌ها با استفاده از GPS ثبت شدند.

در این مناطق سولفات‌سدیم به صورت لایه‌های نازک (حداکثر به ضخامت ۵ سانتی متر) و بریده بریده دیده می‌شوند و در زیر ۱۰ تا ۲۰ سانتی متری خاک پوک و متورم قرار گرفته است (شکل ۴). نمونه‌های جمع‌آوری شده به منظور آزمایش‌های مورد نیاز به آزمایشگاه شرکت فرآوری مواد معدنی ایران ارسال شدند دراین آزمایشگاه نمونه‌ها به روش‌های فلوئورسا نی پرتو

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]

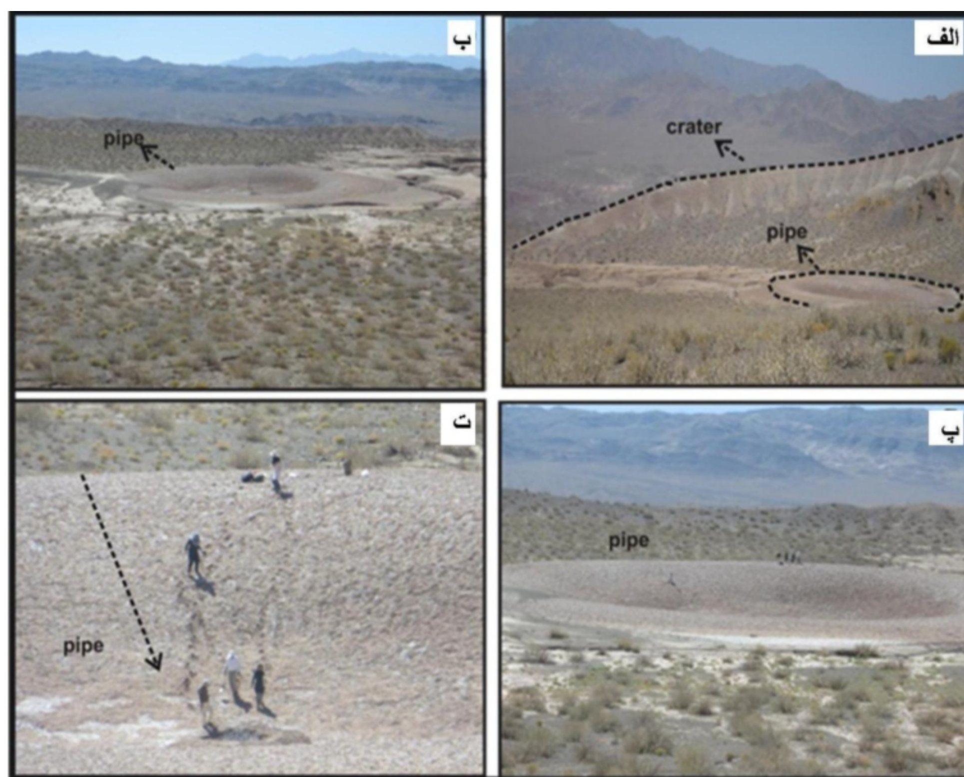
ایکس(XRF) برای اندازه‌گیری مقدار اکسیدهای عناصر اصلی و کمیاب، پراش پرتو ایکس (XRD) و بررسی با میکروسکوپ الکترونی(SEM) برای مطالعات کانی‌شناسی مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۱ نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی مورد بررسی [۶] در شکل مشخص شده است.



شکل ۲ کراتر های منطقه توتک در راین.



شکل۳ دهانه‌ی گلی در بزرگترین دهانه از دهانه‌های توتک که نشان دهنده ی برخورد آب های سطحی با یک ماگمای گرم و در نتیجه انفجار گل و لای بوده است دیواره های این دهانه فرسایش کمی داشته و دیواره های دودکش نیز کاملا سالم است . الف – نمایی از دهانه توتک و دودکش گلی آن، ب و پ– دودکش تقریبا در وسط دهانه قرار ، ت– تصاویری از داخل دودکش گلی.



شکل۴ الف- سولفات سدیم در عمق ۴۰ تا ۳۰ سانتیمتری، ب و پ در قسمت های سطحی.

بحث

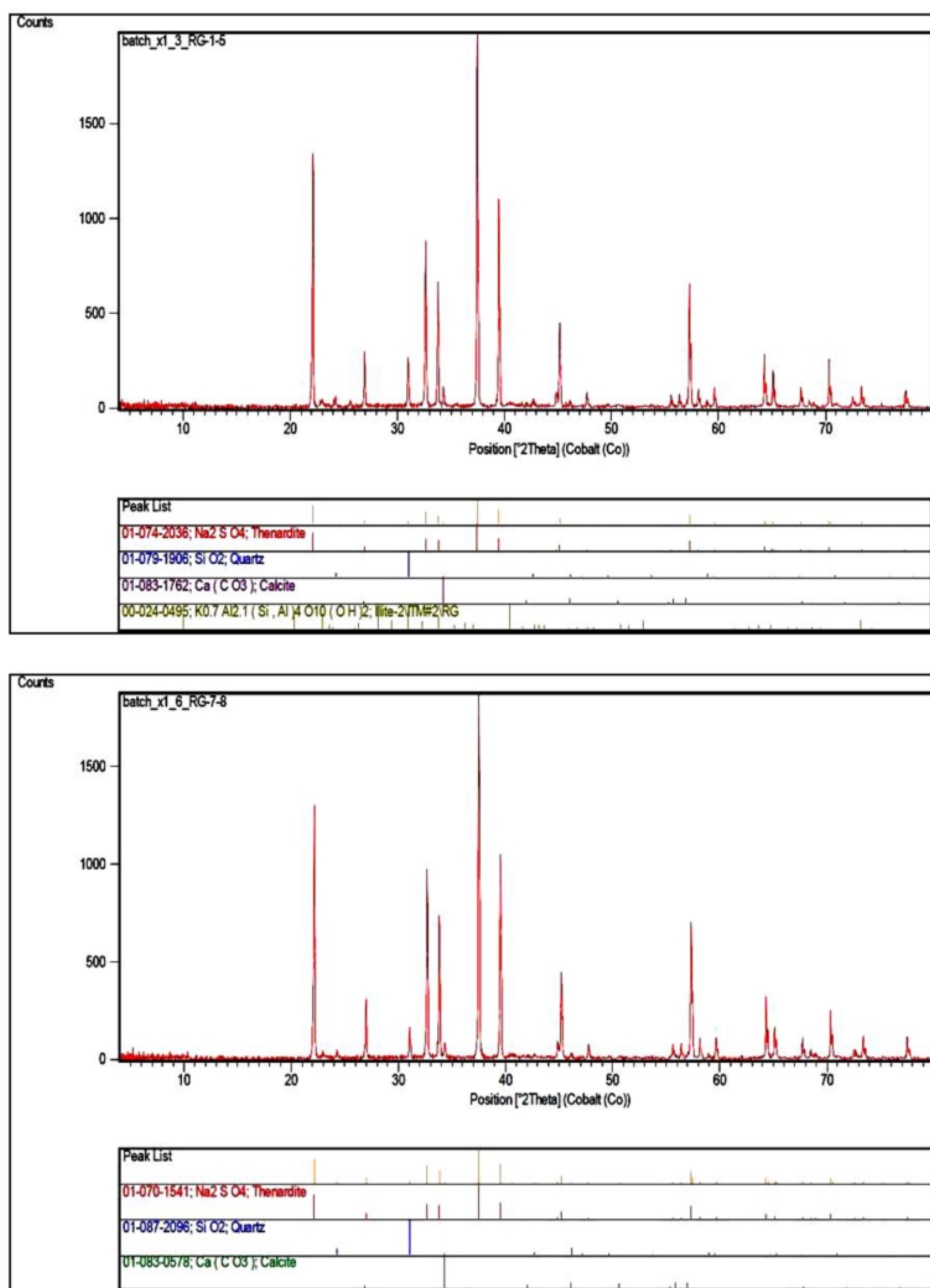
بررسی‌های با پرتو ایکس حاکی از وجود سولفات سدیم از نوع تناردیت بود (شکل ۵) همچنین در SEM علاوه بر سولفات‌های سدیم، سولفات‌های کلسیم – سدیم (یوگستریت) نیز مشاهده می‌شوند. مقدار خلوص تناردیت به سمت مرکز کراتر و سپس دیواره‌های جنوبی و غربی بیشتر می‌شود. در واقع تناردیت کانی اصلی محسوب می‌شود. از دیگر کانی‌های مهم تبخیری در منطقه می‌توان از کلسیت، ژیپس، هالیت، آفتیتالیت(Aphthitalite)، دولومیت و سیلویت نام برد. کانی-های غیر تبخیری نیز شامل کوارتز، کامینیت، پیرولیت و ایلیت هستند.

کانی شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

سولفات‌سدیم نمکی است با رنگ سفید که بر حسب ناخالصی‌های موجود و نیز آب متبلور سفید روشن تا سفید شیری تغییر می‌کند [۷] که در مناطق مورد بررسی به این صورت مشاهده شده و به صورت ترکیبات گوناگون و کانی‌های

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]

مختلفی یافت می‌شوند، حالت جامد سولفات‌سدیم در منطقه‌ی مورد بررسی اغلب به صورت سولفات‌سدیم بدون آب (تناردیت) یافت می‌شود و در بسیاری موارد نیز نمک‌های دیگر به صورت ناخالصی همراه آن‌ها هستند و در نتیجه کانی‌های سولفات-سدیم دارای عیارهای مختلفی هستند، این ماده‌ی معدنی به صورت ترکیبات دیگری از قبیل گلوبریت و یوگستریت که نمک مضاعف سولفات‌سدیم و سولفات‌کلسیم و آفتیتالیت (سولفات-سدیم – پتاسیم) است، نیز یافت می‌شود و به طور کلی اغلب همراه است با ترکیب یا مخلوط با دو یا بیشتر نمک‌های همگن است. به هر حال بیش از ۴۰ کانی برای سولفات‌سدیم با ترکیبات مختلف و میزان درصد سولفات‌سدیم متفاوت شناخته شده است که اغلب در یک محیط همگن تشکیل شده و هر یک دارای ویژگی جالب توجهی هستند که این فرایند بر اساس پایداری آنهاست [۸].



شکل ۵ نمونه ای از پیک گراف XRD مربوط به تناردیت.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]

تناردیت (Na_2SO_4): تناردیت در نمونه‌های توتک، یک کانی اصلی است که در بعضی نمونه‌ها دارای خلوص بسیار بالایی است. سیستم بلوری آن راست لوزی رده 2/m 2/m 2/m ، بلورها دی‌پرامیدال {111} یا مسطح {010} یا به طور عمد {101} هستند [۹]. در تصاویر میکروسکوپ الکترونی، تناردیت بیشتر به صورت بی‌شکل دیده می‌شود که البته در بعضی نمونه‌ها نیز شکل دوهرمی آن مشخص است همین‌طور در سطح‌زمین بیشتر به‌صورت پوسته پوسته و شوره دیده می‌شوند.

سختی آن نسبتا شکننده و در حدود ۲.۵ – ۳ و شکنندگی آن به صورت ناهموار (ناصاف) است [۹].

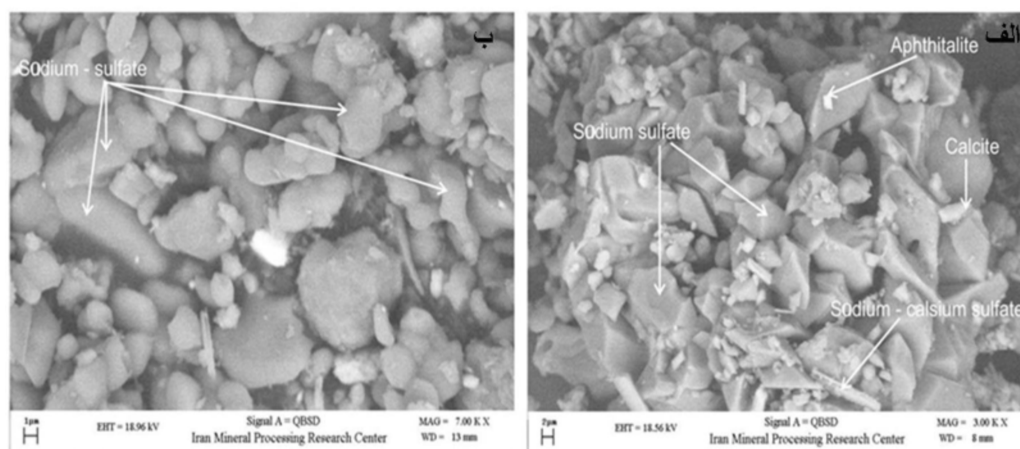
محلول در H_2O است، طعم آن کمی شور که هنگام نمونه‌برداری برای تشخیص از گچ به کار می‌رود. رنگ نمونه‌های مورد بررسی بیرنگ تا سفید است.

تشخیص تناردیت در SEM : در بعضی نمونه‌ها تناردیت کاملا بی‌شکل و در بعضی از نمونه ها نیمه‌شکدار تا یو هدرال هستند(شکل۶). در بعضی نمونه ها اندازه ها بزرگ تر در حدود ۴۰ تا ۳۰ میکرون و نیز تا حد ۱۰ میکرون هستند. در بقیه نمونه ها اندازه ها کوچکتر و در حد ۱.۵ تا ۰.۵ میکرون هستند. شکل الف- ۶ سولفات‌سدیم های درشت بلور و تقریبا یوهدرال (بلور پرامیدال) با اندازه ای برابر ۶ تا ۷ میکرون دیده می‌شوند آنالیز SEM – EDS نتایج بسیار خوبی برای هر یک از مکان‌ها نشان می‌دهد. تمام نمونه‌ها از نظر کانی‌شناسی، اندازه و ترکیب تا حدودی رفتارهای مشابهی نشان می‌دهند.

در نمونه‌های مورد بررسی، همراه با میرابیلیت گلوبریت؛ گچ، هالیت، یوگستریت، کلسیت، باسانیت معمولا در خاکسترها و کراترهای آتشفشان توتک راین یافت می‌شود. تناردیت در تمام نمونه‌های راین که XRD و SEM شده‌اند، به عنوان کانی اصلی منطقه وجود دارد.

میرابیلیت ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$): این کانی همراه با تناردیت در بعضی نمونه‌ها یافت می‌شود.سیستم تبلور آن تک‌میل، رده ی 2/m است. بلورهای کوتاه تا منشورهای بلند، بارشد به‌شکل‌های پیچیده، همچنین نا بالغ تا ۱۰ سانتی متر در توده‌های به هم پیوسته، بلوری، دانه‌ای تا فشرده و نیز به صورت شوره دیده می شوند [۱۰]. این کانی در هوای خشک در اثر از دست دادن آب، به تناردیت تبدیل می‌شود. در آب به خوبی حل می‌شود و مزه آن شور و تلخ است. کانی های همراه آن عبارتند از گچ، تناردیت، هالیت، آفتیتالیت، گلوبریت، یوگستریت، و معمولاً در کفه‌ی نمکی، کرانه‌های اقیانوسی کم عمق، دریاچه‌های شور، که در آنها رسوب شدن به صورت ذخایر لایه‌ای به صورت فصلی ممکن باشد تشکیل می‌شود.

یوگستریت ($Na_4Ca(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$): در بسیاری از نمونه‌ها هم در XRD و هم SEM تشخیص داده‌شده‌اند. سیستم تبلور آن سیستم تک‌میل (؟) به صورت خوشه‌هایی از الیاف نازک با۴۰ μm است [۱۱] که در تصاویر مربوط به SEM این سرشتی‌ها به خوبی مشاهده می‌شوند. سختی آن ۲، محلول در H_2O و شفاف است که به صورت بیرنگ تا سفید و همراه کانی‌های دیگر تبخیری به صورت پودر مشاهده می‌شود. انباشت در نمونه های مورد بررسی شامل تناردیت، هالیت ، ژیپس، گلوبریت، کلسیت است که همراه با دیگر کانی‌های تبخیری یافت می‌شوند. یوگستریت یک کانی فرعی دیگر است که همراه با تبخیری‌های منطقه یافت می‌شود.



شکل۶ الف- بلورهای خود شکل (یوهدرال) تناردیت همراه با دیگر سولفات‌های سدیم، ب- سولفات سدیم های بی شکل (آنهدرال).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]

تشخیص یوگستریت در SEM: یوگستریت در SEM به صورت سوزنی یوهدرال تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شود که نشان دهنده ی خصلت تکمیل آن است [۱۲،۱۱]. این کانی به صورت الیاف نازک (فیبری) دارای ضخامتی حدود ۱.۵ تا ۰.۵ و طول ۱۰ تا ۴ میکرون در نمونه‌ها دیده می‌شود. تشخیص دو کانی گلوبریت و یوگستریت دشوار است و تنها با استفاده از SEM-EDS امکان پذیر است [۱۳] بلورهای سولفات‌سدیم مضاعف سدیم – کلسیم در این بررسی به صورت یوهدرال با بلورهای منشوری است که بیشتر همراه با تناردیت در متن دیده می‌شود (شکل ۷). بررسی SEM – EDS مربوط به آن برای تمام نمونه‌ها از نظر ترکیب مشابه است. در نمونه‌های راین سولفات‌های سدیم – کلسیم به صورت فرعی در متن سنگ همراه با تناردیت دیده می‌شوند.

آفتیتالیت ($(K, Na)_3Na(SO_4)_2$**)**: این کانی در نمونه‌های مورد بررسی مثل بقیه به صورت پودر است و با XRD شناسایی شده است. سیستم تبلور آن سیستم هشت‌گوشی رده‌ی $32/m$، بلورهای مسطح در {0001} با ظاهری سه‌گوشه و نیز به شکل شبه راست لوزی دیده می‌شود. در انباشت تیغه‌دار به صورت پستانی ناقص در پوسته خاک نیز دیده می‌شود. ترد و شکننده با سختی ۳ بیرنگ، و رنگ‌های سفید، خاکستری، آبی، سبز است. جلای شیشه‌ای تا صمغی دارد وشفاف تا مات است [۱۴]. در H_2O حل می‌شود و دارای طعم شور است [۱۵]. انباشت در نمونه‌های مورد بررسی به صورت تناردیت، سیلویت، میرابیلیت، هالیت، گچ دیده شده‌اند. در نمونه‌های دیگر به صورت کانی فرعی نیز دیده می‌شود.

ژئوشیمی کانی‌های بررسی شده

مقایسه‌ی اکسیدهای اصلی با میانگین اکسیدهای پوسته‌ی زمین و پوسته‌ی قاره‌ای

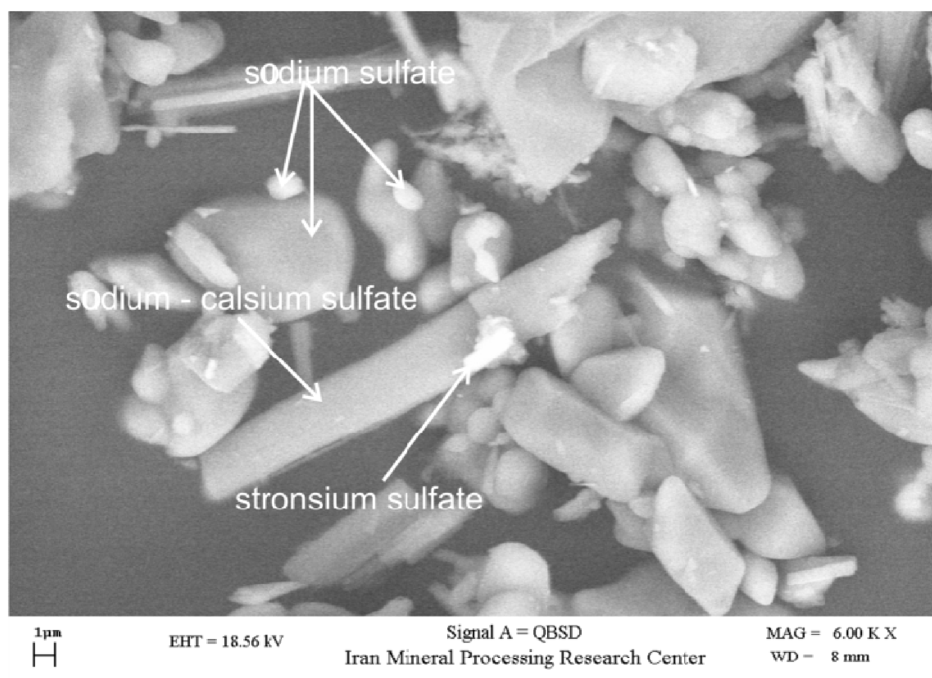
نمونه‌های منطقه مورد بررسی تجزیه XRF شدند. بنابراین نتایج (جدول ۱) و مقایسه ی آن‌ها با اکسیدهای اصلی پوسته‌ی زمین (شکل ۸) چنین نتیجه می‌شود که Na_2O: بیشترین فراوانی را بین کاتیون‌ها نشان می دهد. این مقدار در نمونه‌های توتک بالاتر از میانگین پوسته‌ی قاره‌ای و کل پوسته است. فراوانی SO_3 ارتباط مسقیم با میزان سدیم دارد که نشان دهنده‌ی غالب بودن کانی سولفات‌سدیم (تناردیت) است. در مقایسه با Na_2O ، کاتیون‌های CaO، K_2O ، MgO، مقدار کمتری را نشان می‌دهند همچنین در مقایسه با فراوانی SO_3، آنیون Cl به مقدار کمتری دیده می‌شود که نشان دهنده‌ی کمتر و یا نادر بودن کانی‌های کلریدی و دیگر کانی‌های تبخیری رایج در منطقه است.

Al_2O_3 و SiO_2 در منطقه‌ی مورد بررسی مقدار بسیار کمتری را نسبت به میانگین پوسته‌ی زمین نشان می‌دهد. که نشان دهنده‌ی کم بودن میزان کانی‌های سیلیکاتی و رسی در حوضه‌های تبخیری مورد بررسی است. بقیه‌ی اکسیدها مقداری برابر یا کمتر از میانگین پوسته‌ی زمین و قاره‌ای نشان می‌دهند.

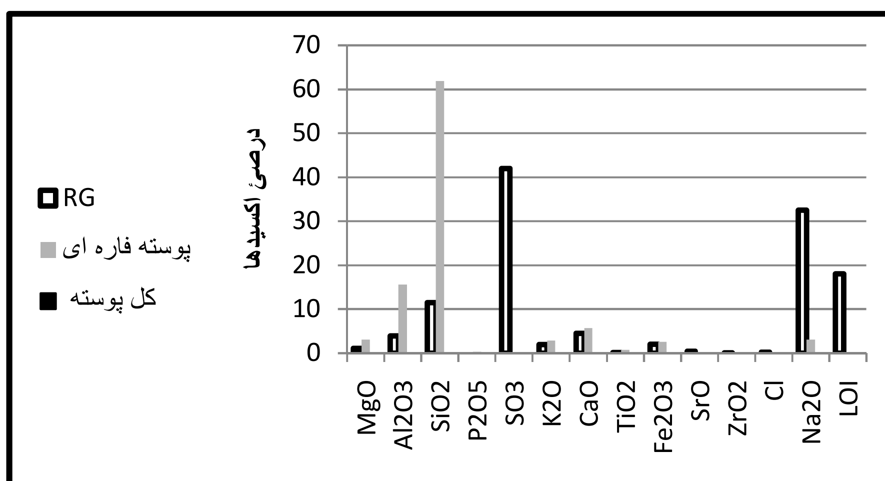
جدول۱ نتایج آنالیز XRF منطقه‌ی راین

	RG-1-4	RG-1-10	RG-1-13	RG-1-16	RG-1-21	RG-1-23	RG-1-28	RG
MgO	۱/۰۴	۱/۶۲	۱/۱۶	–	۰/۷۵	۱/۷۷	۱/۱۴	۱/۰۷
Al_2O_3	۱/۹۸	۶/۴۷	۳/۷۸	۲/۰۵	۳/۰۲	۶/۱۱	۳/۷۰	۳/۸۷
SiO_2	۵/۴۱	۱۹/۲۹	۱۱/۱۹	۶/۲۰	۸/۵۴	۱۹/۰۰	۱۰/۸۹	۱۱/۵
P_2O_5	–	–	–	–	–	–	–	–
SO_3	۴۹/۹۵	۳۰/۹۶	۴۳/۲۹	۴۸/۷۰	۴۶/۲۰	۳۲/۷۱	۴۱/۹۸	۴۱/۹۷
K_2O	۰/۳۸	۳/۵۵	۱/۱۱	۱/۵۸	۰/۹۷	۳/۸۳	۱/۹۱	۱/۹
CaO	۱/۲۴	۷/۶۶	۳/۶۷	۲/۵۵	۲/۹۴	۷/۸۹	۵/۲۷	۴/۴۶
TiO_2	۰/۱۳	۰/۳۵	–	–	–	۰/۲۶	–	۰/۱۱
Fe_2O_3	۱/۲۰	۴/۶۸	۱/۲۶	۱/۰۶	۱/۴۶	۲/۳۶	۱/۸۸	۱/۹۸
SrO	–	۰/۴۸	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۲۹	۳/۶۲	۰/۶۶	۰/۳۵
ZrO_2	–	۰/۰۹	۰/۰۵	–	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۶
Cl	–	۰/۹۰	۰/۸۱	–	–	–	–	۰/۲۴
Na_2O	۳۸/۶۸	۲۳/۹۸	۳۳/۴۶	۳۷/۷۲	۳۵/۷۸	۲۵/۳۴	۳۲/۴۹	۳۲/۴۹
LOI	۲۰/۹۰	۱۳/۲۳	۲۰/۹۳	۱۸/۴۵	۱۸/۸۸	۱۳/۱۹	۲۰/۷۲	۱۸/۰۳

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]



شکل۷ تصویر SEM بلورهای تک میل یوگستریت.



شکل ۸ مقایسه‌ی نمونه های راین با پوسته‌ی قاره‌ای و کل پوسته

بررسی همبستگی اکسید کاتیون های اصلی با اکسید آنیون های اصلی تشکیل دهنده‌ی مناطق مورد مطالعه

بر اساس جدول ۲ ضریب همبستگی اسپیرمن که برای داده‌های XRF رسم شده است: ضریب همبستگی SO_3 و Na_2O برابر ۱+ است. مقدار ضریب همبستگی ۱+ موید همبستگی کامل و مستقیم متغیرهاست در حالی که مقدار ضریب همبستگی ۱- نشانگر همبستگی کامل و غیر مستقیم است و ضریب همبستگی صفر، عدم ارتباط بین دو متغیر را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی CaO با SO_3 ۰٫۹۶۴- و ضریب همبستگی Na_2O با Cl ۰٫۵۳۵- است که همبستگی وجود ندارد. همین طور K_2O با Cl دارای ضریب همبستگی ۰٫۲۲۳ است. این موارد نشان دهنده‌ی کمبود کانی‌های کلریدی مانند هالیت و سیلویت در مناطق مورد بررسی است. نمونه‌های توتک در مقایسه با پوسته‌ی قاره‌ای و کل پوسته، SiO_2 و Al_2O_3 بسیار کمتری دارد. همین‌طور مقدار K_2O، CaO، MgO، TiO_2، Fe_2O_3، کمتر از پوسته است. در عوض مقدار Na_2O و SO_3 آن از میانگین پوسته بسیار بیشتر است (شکل ۸).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]

خاستگاه تبخیری‌ها در منطقه توتک راین

بر اساس آن چه گفته شد، به عقیده‌ی نظری که قطبی [۱۶] در سال ۱۳۶۳ بیان کرد، خاستگاه سولفات‌سدیم به دلیل دگرسانی فلدسپات‌های سنگ‌های آتشفشانی جوان و کربنات-سدیم موجود در خاکسترهای آتشفشانی است. سبزه‌ای [۱۷] در سال ۱۳۶۴ رسوب‌های تبخیری از نوع سولفات‌سدیم در کراترهای قلعه حسنعلی راین (کرمان) را حاصل واکنش سنگ-های آتشفشانی با گاز CO_2 و Cl می‌داند که ته‌نشینی آن‌ها باعث به وجود آمدن سولفات‌سدیم وکلریدسدیم شدند. بنابراین، تبخیری‌ها را می توان در ارتباط با فعالیت آتشفشان‌های جوان، دگرسانی و آب‌های گرمابی دانست. بر اساس نقشه‌ی زمین-شناسی منطقه (شکل ۱) آبراهه‌هایی به کراتر توتک و منطقه‌ی تبخیری آن می‌ریزند از تشکیلاتی سرچشمه می‌گیرند که جنس بیشتر آن‌ها از پیروکلاستیک‌های اسیدی با جریان‌های لاوای اسیدی و بازی و نیز ماسه‌های توفی اسیدی و توف‌های دیگر هستند. در اثر دگرسانی این سنگ‌ها آنیون‌های سولفات (SO_4^{2-}) و کلرید (Cl^-) و کاتیون‌های Na^{2+} و K^+ و Ca^{2+} آزاد می‌شوند و نقش مهمی در تشکیل تبخیری‌های این منطقه به خصوص سولفات‌های سدیم بازی می‌کنند. در این میان نمی-توان نقش گسل‌های موجود در منطقه و جریان‌های گرمابهای این آتشفشان جوان را نادیده گرفت.

توپوگرافی دهانه‌های توتک که پایین‌تر از ارتفاعات اطراف است و نیز شرایط آب و هوایی منطقه در تشکیل تبخیری‌های منطقه مؤثرند. با توجه به این که زمان نمونه برداری در فصل گرم (نیمه‌ی مهرماه) صورت گرفت، سولفات‌سدیم‌های موجود در منطقه بیشتر از نوع تناردیت‌اند.

جدول۲ ضریب همبستگی اکسیدها در منطقه‌ی مورد بررسی

		MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	SrO	ZrO_2	Cl	Na_2O	LOI
MgO	Correlation Coefficient	۱٫۰۰۰												
Al_2O_3	Correlation Coefficient	۰٫۸۵۷*	۱٫۰۰۰											
SiO_2	Correlation Coefficient	۰٫۸۵۷*	۱٫۰۰۰**	۱٫۰۰۰										
SO_3	Correlation Coefficient	-۰٫۸۲۱*	-۰٫۹۶۴**	-۰٫۹۶۴**	۱٫۰۰۰									
K_2O	Correlation Coefficient	۰٫۶۷۹	۰٫۷۸۶*	۰٫۷۸۶*	-۰٫۸۵۷*	۱٫۰۰۰								
CaO	Correlation Coefficient	۰٫۸۵۷*	۰٫۹۲۹**	۰٫۹۲۹**	-۰٫۹۶۴**	۰٫۸۹۳**	۱٫۰۰۰							
TiO_2	Correlation Coefficient	۰٫۶۷۰	۰٫۵۱۲	۰٫۵۱۲	-۰٫۵۱۲	۰٫۴۷۳	۰٫۴۷۳	۱٫۰۰۰						
Fe_2O_3	Correlation Coefficient	۰٫۷۸۶*	۰٫۸۵۷*	۰٫۸۵۷*	-۰٫۹۲۹**	۰٫۷۱۴	۰٫۸۹۳**	۰٫۶۱۱	۱٫۰۰۰					
SrO	Correlation Coefficient	۰٫۵۷۱	۰٫۶۷۹	۰٫۶۷۹	-۰٫۸۲۱*	۰٫۷۵۰	۰٫۸۵۷*	۰٫۱۵۸	۰٫۸۲۱*	۱٫۰۰۰				
ZrO_2	Correlation Coefficient	۰٫۷۳۴	۰٫۷۵۳	۰٫۷۵۳	-۰٫۸۶۳*	۰٫۷۷۱*	۰٫۹۱۸**	۰٫۲۸۴	۰٫۸۶۳*	۰٫۹۷۳**	۱٫۰۰۰			
Cl	Correlation Coefficient	۰٫۴۹۰	۰٫۶۶۸	۰٫۶۶۸	-۰٫۵۳۵	۰٫۲۲۳	۰٫۳۵۶	۰٫۳۶۹	۰٫۴۰۱	۰٫۰۴۵	۰٫۱۱۴	۱٫۰۰۰		
Na_2O	Correlation Coefficient	-۰٫۸۲۱*	-۰٫۹۶۴**	-۰٫۹۶۴**	۱٫۰۰۰**	-۰٫۸۵۷*	-۰٫۹۶۴**	-۰٫۵۲۱	-۰٫۹۲۹**	-۰٫۸۲۱*	-۰٫۸۶۳*	-۰٫۵۳۵	۱٫۰۰۰	
LOI	Correlation Coefficient	-۰٫۳۲۱	-۰٫۴۶۴	-۰٫۴۶۴	۰٫۵۳۶	-۰٫۷۵۰	-۰٫۵۱۷	-۰٫۵۱۷	-۰٫۵۳۶	-۰٫۴۲۹	-۰٫۴۰۴	۰٫۰۴۵	۰٫۵۳۶	۱٫۰۰۰

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]

برداشت

بر اساس بررسی‌های SEM و XRD، کانی‌های سولفاتی اصلی و مهم منطقه‌ی مورد بررسی عبارتند از: سولفات‌های کلسیم (گچ، انیدریت، باسانیت)، سولفات‌های سدیم (تناردیت) سولفات‌های سدیم – کلسیم (یوگستریت و گلوبریت) ، سولفات‌های سدیم – پتاسیم (آفتیتالیت)، سولفات‌منیزیم (کامینیت)که تناردیت از کانی‌های اصلی منطقه به حساب می-آیند.

با توجه به نتایج XRF و مقایسه‌ی آن‌ها با اکسیدهای اصلی پوسته‌ی زمین، Na_2O بیشترین فراوانی را بین کاتیون‌ها نشان می‌دهد. فراوانی SO_3 ارتباط مستقیم با میزان سدیم دارد که نشان دهنده‌ی غالب بودن کانی سولفات‌سدیم (تناردیت) است. در مقایسه با Na_2O ، کاتیون‌های CaO، K ، MgO، و در مقایسه با SO_3، آنیون Cl فراوانی کمتری را نشان می‌دهد که نشان دهنده‌ی کمتر و یا نادر بودن کانی‌های کلریدی و دیگر کانی‌های تبخیری رایج در منطقه است. بر اساس جدول ضریب همبستگی اسپیرمن که برای داده‌های XRF رسم شده است، ضریب همبستگی SO_3 و Na_2O برابر ۱+ است. مقدار ضریب همبستگی ۱+ موید همبستگی کامل و مستقیم متغیرهاست.

بین Na_2O و SO_3 همبستگی کامل و مستقیمی وجود دارد در حالی که بین بقیه اکسیدها با SO_3 و نیز Cl، این همبستگی وجود ندارد. همه‌ی این موارد نشان دهنده‌ی تشکیل تناردیت (سولفات سدیم) هستند.

قدردانی

از شرکت فرآوری مواد معدنی ایران به خاطر انجام آنالیزها سپاسگزاری می‌کنم.

مراجع

[1] Garrett D. E.," *Sodium sulfate: Handbook of Deposits*", perossesing & use. Acadamic Press (2001).

[2] Mcilveen S. Jr., R.L. Cheek Jr., "*Sodium sulfate resources"*. Edited by D.D. Carr. Littleton, CO: SME , (1994) 959–971.

[3] Dimitrijevic M. D., "*Geology of Kerman region. Geological survey of Iran*". Report, Yu. 59. (1973).

[4] Low R., Anderson D.M., Boak R.A., Nkala G., "*An investigation of solar evaporation pond leakage and possible remedial measures at Sua Pan*", Botswana Eighth World Salt Symposium, vol. 1, (2000) pp. 523–528.

[۵] "*فرهنگ جغرافیایی آبادی های استان کرمان*"، سازمان جغرافیایی و وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح (۱۳۸۴) .

[۶] دیمیتریویچ و همکاران، "*نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ خانه خاتون ، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور*"، (۱۹۵۹).

[7] Warren, J. K., *"Evaporites through time: Tectonic"*, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews*, (2010) 217–268.

[8] Austin G. S., "*Sodium Sulfate Resources. Industrial Minerals and Rocks, SME*" (Soc. Mining Metallurgy and Exploration) , (2006).

[9] Nord A. G., "*Refinement of the crystal structure of thenardite, Na2SO4 (V)"*. Acta Chemica Scandinavica, 27 (1973) 814-822.

[10] Ericksen, G.E., M.E. Mrose, J.J. Fahey, "*Ice-clear mirabilite from Salar de Pintados, northern Chile*". Mineral. Record, 1 (1970) 12–25.

[11] Vergouwen L., "*Eugsterite, a new salt mineral*", American Mineralogist, 66 (1981) 632-636.

[12] Buck B. J., King J., Etyemezian V., *"Effects of salt mineralogy on dust emissions, Salton Sea,"* California. Soil Science Society of America Journal, 75(5) (2011) 1971-1985.

[13] Mees F., T.V. Tursina, "*Salt minerals in saline soils and salt crusts*". Ch. 20. In G.V. Stoops et al. (ed.) The interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, Amsterdam (2010).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.15.7]

[14] Moore P. B., "*Bracelets and pinwheels-topologycal geometrycal approach to calcium orthosilicate and alkaly sulfate structures*". American Mineralogist, 58(1-2) (1973) 32-42.

[15] Okada K., Ossaka J., " *Structures of potassium sodium sulphate and tripotassium sodium disulphate"*. ActaCrystallographica Section B: Structural Crystallography and Crystal Chemistry, 36(4) (1980) 919-921.

[۱۶] قطبی ح.، " *اکتشاف و بررسی مقدماتی سولفات سدیم و کانیهای همراه*"، گزارش داخلی سازمان زمین شناسی (۱۳۶۳)..

[۱۷] سبزه‌ای ،م ، و دیگران ."*اکتشافات تفضیلی سولفات سدیم موجود در خاکستر های آتشفشانی منطقه قلعه حسنعلی راین کرمان*"، گزارش داخلی سازمان زمین شناسی (۱۳۶۴).